アナログ入力付き高精度±1 g ～ ±5 gの1軸 *i*MEMS®加速度センサー

ADXL105*

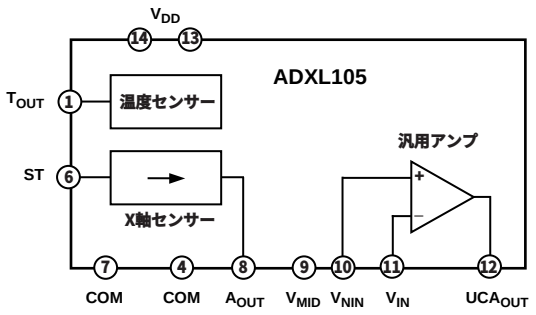
特長

モノリシックICチップ
分解能：2 m g
帯域幅：10 kHz
5 kHzまで平坦な（±1%）振幅応答
小さいバイアス・ドリフトと感度ドリフト
低消費電力：2 mA
電源に比例する出力
g範囲のスケールをユーザーが設定可能
温度センサーを内蔵
汎用アンプを内蔵
表面実装パッケージを採用
＋2.7 V ～ ＋5.25 Vの単電源動作
耐衝撃：1000 g

アプリケーション

車載
高速応答高精度チルト検出
機器の正常動作監視および振動計測
速度と位置の経済的な慣性センサー
地震計
回転角加速度検出

機能ブロック図



概要

ADXL105は、1つのモノリシックIC上に集積した高性能高精度の1軸加速度センサー計測システムです。このADXL105では、以前のマイクロマシン加工のデバイスに比べて帯域幅が大幅に広げられ、ノイズが削減されています。ADXL105は最大±5 gまでのフル・スケール範囲で加速度を計測し、アナログ電圧を出力します。

ノイズ・フロアは225 μg$\sqrt{Hz}$（Typ）であり、2 mg未満の信号も計測できます。10 kHzの広い周波数範囲に対する応答により、振動計測アプリケーションが可能です。このデバイスでは、ADXL05に比べると、全温度範囲でオフセット・ドリフトと感度ドリフトが大幅に削減されています。

ADXL105は動的加速度（振動に特有の）と静的加速度（例えば、慣性力、重力やチルト（傾き））の両方を計測することができます。

出力スケール・ファクタ250 mV/g ～1.5 V/gは、内蔵の汎用アンプと外付け抵抗を使って設定します。このデバイスには8mV/℃の出力を備えた温度センサーが内蔵されており、高精度アプリケーションにおける温度に対するオフセットをオプションで温度補償します。

ADXL105はハーメチック14ピン表面実装CERPAKを採用しており、0℃～＋70℃および－40℃～＋85℃の温度範囲仕様のバージョンがあります。

*特許申請中。
*i*MEMSは、アナログ・デバイセズ社の登録商標です。

アナログ・デバイセズ社が提供する情報は正確で信頼できるものを期していますが、当社はその情報の利用、また利用したことにより引き起こされる第3者の特許または権利の侵害に関して一切の責任を負いません。さらにアナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を許諾するものでもありません。

REV.0

アナログ・デバイセズ株式会社

本　　社／東京都港区海岸１－１６－１　電話03（5402）8200　〒105－6891
ニューピア竹芝サウスタワービル
大阪営業所／大阪市淀川区宮原３－５－３６　電話06（6350）6868㈹　〒532－0003
新大阪第２森ビル

ADXL105—仕様

(特に指定のない限り、$T_A = T_{MIN}$ ～ T_{MAX}、T_A = +25℃ (Jグレードのみ)、V_S = +5 V、加速度 = 0 g)

パラメータ	条件	ADXL105J/A Min	Typ	Max	単位
センサー入力					
計測範囲[1]		±5	±7		g
非直線性	最適直線		0.2		% of FS
アライメント誤差[2]			±1		Degrees
横軸感度[3]	Z軸、+25℃		±1	±5	%
感度[4] (比例)	A_{OUT}での値				
初期		225	250	275	mV/g
	V_S = 2.7 V	90	105	120	mV/g
対温度[5,6]			±0.5		%
ゼロgバイアス・レベル[5] (比例)	A_{OUT}での値				
ゼロgオフセット誤差	公称値+2.5 Vから	−625		+625	mV
対電源		−20		+20	mV/V_{DD}/V
対温度[5,7]			50		mV
ノイズ性能					
電圧密度[7]	+25℃		225	325	μg√Hz
100 Hz帯域幅のノイズ			2.25		mg rms
周波数応答					
3 dB帯域幅			12		kHz
センサー共振周波数		13	18		kHz
温度センサー[4] (比例)					
+25℃での出力誤差	公称値+2.5 Vから	−100		+100	mV
公称スケール・ファクタ			8		mV/℃
出力インピーダンス			10		kΩ
V_{MID}[4] (比例)					
出力誤差	公称値+2.5 Vから	−15		+15	mV
出力インピーダンス			10		kΩ
セルフテスト (V_{DD}に比例)					
A_{OUT}での電圧差	セルフテスト“0”から“1”	100		500	mV
入力インピーダンス[8]		30	50		kΩ
A_{OUT}					
出力駆動電圧	I = ±50 μA	0.40		V_S−0.5	V
容量負荷駆動能力		1000			pF
汎用アンプ					
初期オフセット		−25		+25	mV
対温度初期オフセット			5		μV/℃
同相モード範囲		1.0		4.0	V
入力バイアス電流[9]			25		nA
オープン・ループ・ゲイン			100		V/mV
出力駆動電圧	I = ±100 μA	0.25		V_S−0.25	V
容量負荷駆動能力		1000			pF
電源					
動作電圧範囲		2.70		5.25	V
静止電源電流	5.0 V		1.9	2.5	mA
	2.7 V		1.3	2.0	mA
ターンオン時間			700		μs
温度範囲					
動作範囲J		0		+70	℃
仕様性能A		−40		+85	℃

注
1 ゼロgバイアス、感度、出力振幅のテストにより保証。
2 X軸のアライメントは、CERPAKパッケージの底面から半分の位置の長縁を基準とします。
3 横軸感度は、デバイスのZ軸に加速度を加えて測定します。
4 このパラメータは、電源電圧V_{DD}に比例します。仕様はV_{DD}=5.0 Vに対して示してあります。異なるV_{DD}での近似値を計算するときは、仕様値にV_{DD}/5 Vを乗算してください。
5 規定値は、+25℃の初期値からT_{MIN} ～ T_{MAX}のワースト・ケース値までにおけるパラメータの最大変化値です。
6 図3を参照してください。
7 図2を参照してください。
8 CMOS および TTL 互換。
9 UCA入力バイアス電流は出荷時にテスト。
すべての min 値とmax 値は保証しますが、typ 値はテストされず、保証もされません。
仕様は予告なく変更されることがあります。

絶対最大定格*

加速度（任意軸、0.5 ms間電源切断）…… 1000 g
加速度（任意軸、0.5 ms間電源印加）…… 500 g
$+V_S$ …… −0.3 V ～ +7.0 V
出力短絡時間
（任意のピンをコモンに接続） …… 無限
動作温度 …… −55℃ ～ +125℃
保存温度 …… −65℃ ～ +150℃

* 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに永久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格の規定のみを目的とするものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くとデバイスの信頼性に影響を与えます。

パッケージ特性

パッケージ	θ_{JA}	θ_{JC}	デバイス重量
14ピンCERPAK	110℃/W	30℃/W	2グラム未満

オーダー・ガイド

モデル	温度範囲	パッケージ・オプション
ADXL105JQC	0℃ ～ +70℃	QC−14
ADXL105AQC	−40℃ ～ +85℃	QC−14

注意

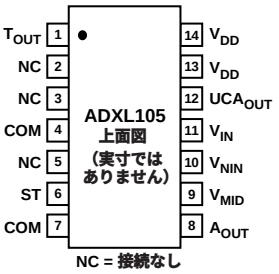
ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。4000 Vもの高圧の静電気が人体やテスト装置に容易に帯電し、検知されることなく放電されることもあります。このADXL105には当社独自のESD保護回路が備えられていますが、高エネルギーの静電放電にさらされたデバイスには回復不能な損傷が残ることもあります。したがって、性能低下や機能喪失を避けるために、適切なESD予防措置をとるようお奨めします。

堅い表面に落下させると1000 gを超える衝撃を与えて、デバイスのこの最大定格を超えてしまうことがあります。損傷を与えないように取り扱いには十分注意してください。

ピン機能説明

ピン番号	記号	説明
1	T_{OUT}	温度センサー出力
2、3、5	NC	接続なし
4	COM	コモン
6	ST	セルフテスト
7	COM	コモン（サブストレート）
8	A_{OUT}	加速度センサー出力
9	V_{MID}	V_{DD}/2基準電圧
10	V_{NIN}	汎用アンプ非反転入力
11	V_{IN}	汎用アンプ反転入力
12	UCA_{OUT}	汎用アンプ出力
13、14	V_{DD}	電源電圧

ピン配置



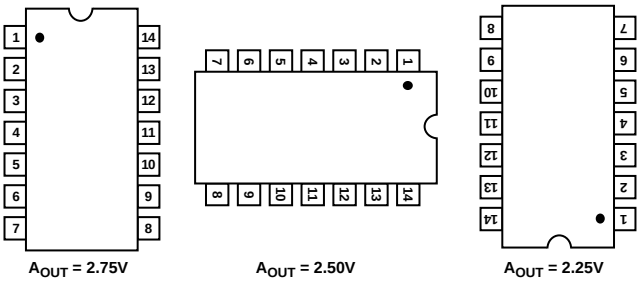


図1．重力に対するADXL105の応答

ADXL105―代表的な性能特性

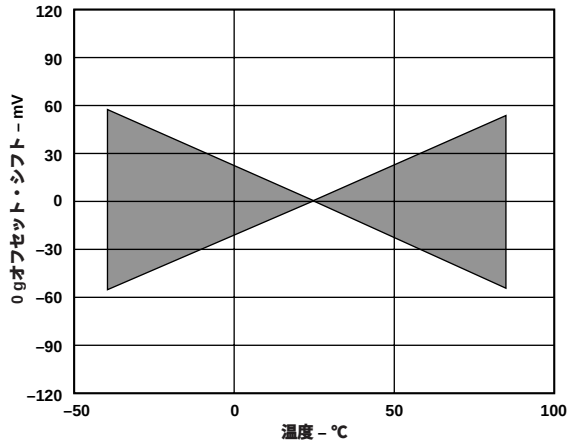


図2．0 gシフト（Typ）と温度*の関係

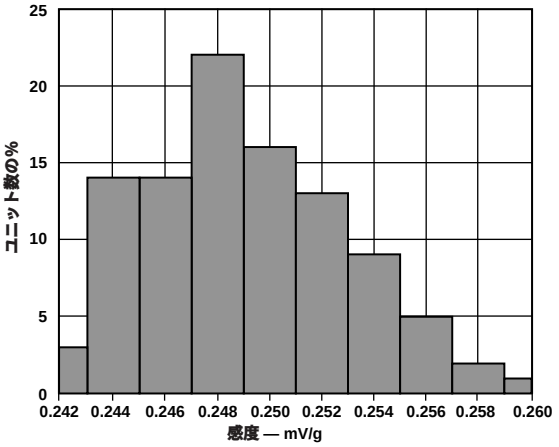


図5．感度分布*

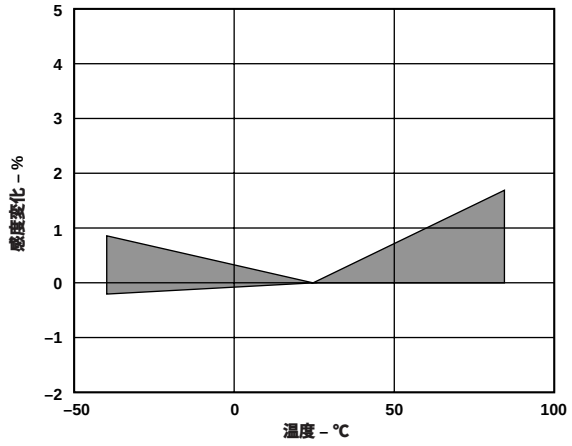


図3．感度シフト（Typ）と温度*の関係

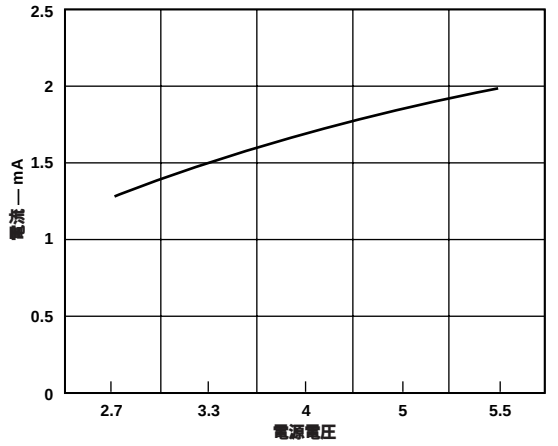


図6．電源電流（Typ）と電源電圧の関係

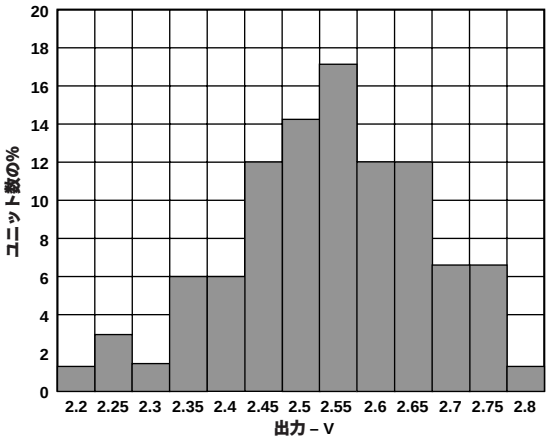


図4．0 g出力分布*

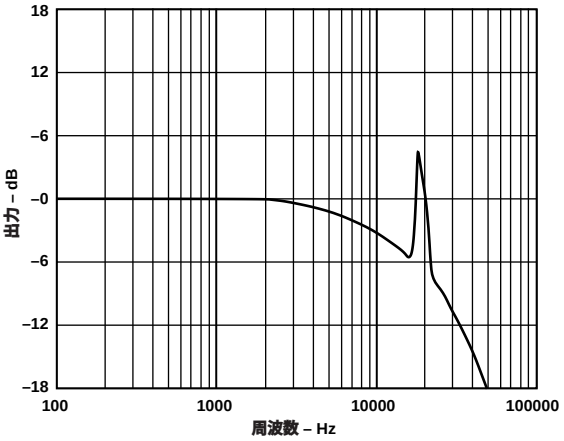


図7．ノイズ・グラフ

*複数のキャラクタライゼーション・ロットのデータを使用。

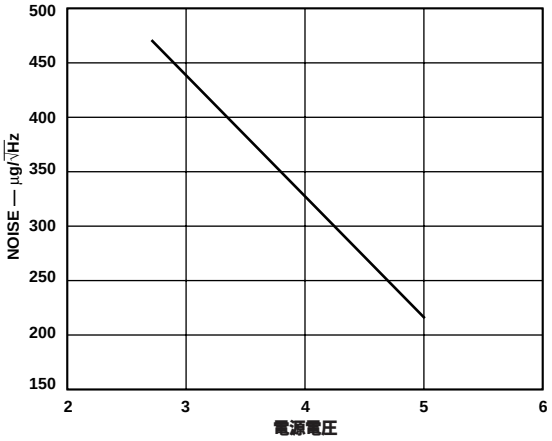


図8．ノイズ密度（Typ）と電源電圧の関係

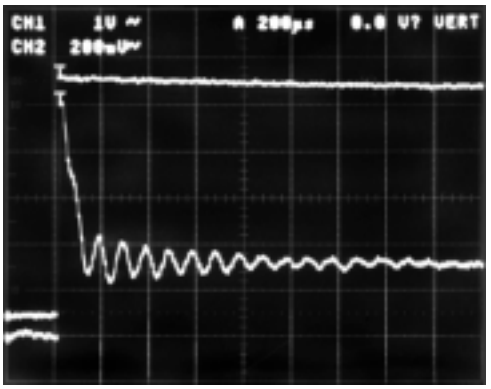


図11．V_{DD}＝5 Vにおけるセルフテスト応答（Typ）

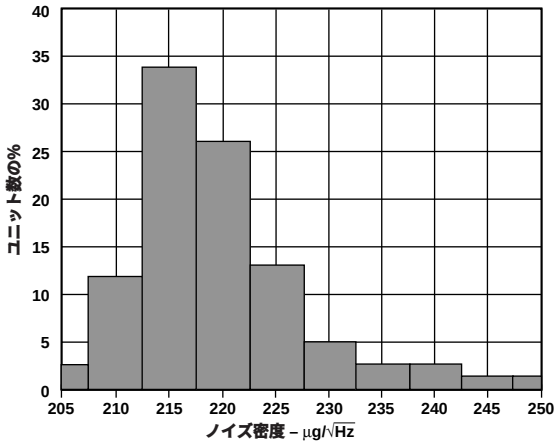


図9．ノイズ分布*

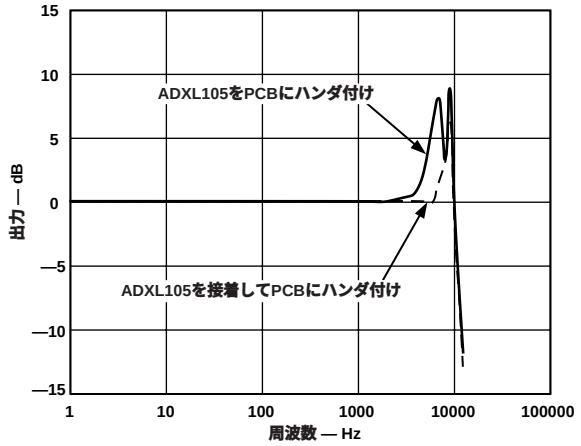


図12．周波数応答

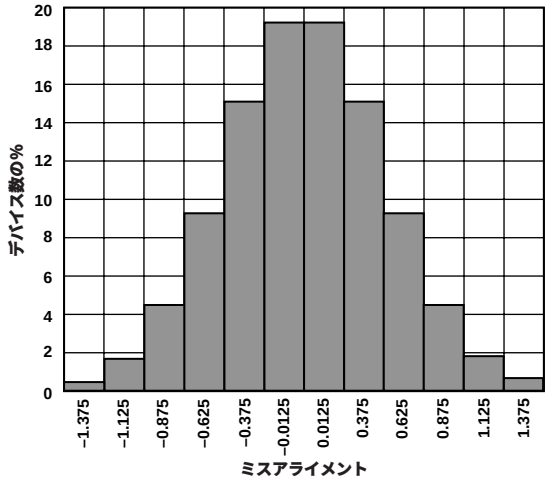


図10．チップの回転アライメント*

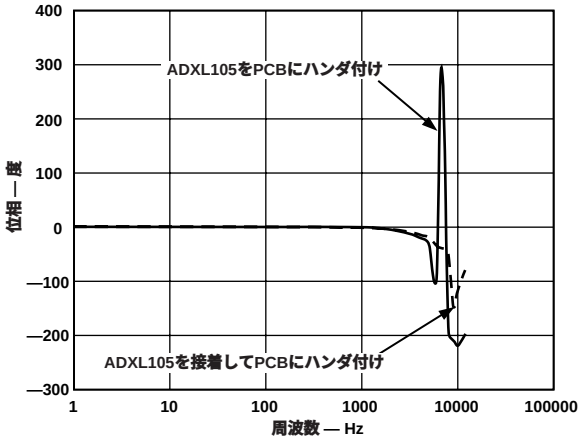


図13．位相応答

*複数のキャラクタライセージョン・ロットのデータを使用。

動作原理

ADXL105はシングル・モノリシックIC上に集積された自己完結型の加速度センサー測システムであり、ポリシリコンを表面マイクロマシン加工したセンサーとBiMOS信号コンデショニング回路を内蔵して、オープン・ループ加速度センサー計測アーキテクチャを構成しています。

ADXL105は、最大レベル±5 gの正および負の加速度を計測することができます。この加速度センサーは重力などの静的加速度の測定も可能で、チルト・センサーとしても使用することができます。

このセンサーは、表面マイクロマシン加工されたポリシリコン構造でシリコン・ウエハー上に構成されています。ポリシリコンのバネによりウエハー表面上にこの構造を支持して、加速度により発生する力に抗するようにしています。この構造の振れを、2個の独立した固定プレートと可動質量に取り付けられた中央プレートで構成される差動キャパシタを使って計測します。180度位相がずれた方形波により、この固定プレートを駆動します。加速度によりビームが振れると、差動キャパシタに不平衡が生じて、加速度に比例する振幅を持つ出力方形波が発生されます。位相検出復調技術を使ってこの信号を整流し、加速度の方向を決定します。

出力スケール・ファクタの設定、フィルタリング、その他のアナログ信号処理は、汎用アンプを使って行います。

比例型の電圧出力温度センサーにより、正確なチップ温度を測定して、温度に対する加速度センサーのキャリブレーション（オプション）に使用することができます。

V_{DD}

ADXL105にはピン13とピン14の2本の電源（V_{DD}）ピンがあります。これらの2本のピンは、直接相互に接続しておく必要があります。ADXL105の出力は、電源電圧に比例します。したがって、電源ノイズを減らすために、0.22 µFデカップリング・キャパシタをV_{DD}とCOMの間に接続する必要があります。さらにノイズを減少させるときは、V_{DD}ピンに直列に抵抗（および/またはフェライト・ビーズ）を接続します。詳細については、EMCと電気的ノイズの節を参照してください。

COM

ADXL105には、ピン4とピン7の2本のコモン（COM）ピンがあります。これらの2本のピンを直接相互に接続して、ピン7でグランドに接続する必要があります。

ST

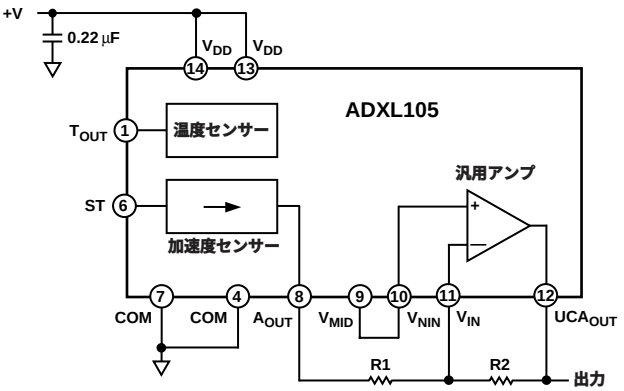
STピン（ピン6）は、セルフテスト機能を制御します。このピンをV_{DD}に接続すると、静電気力が加速度センサーのビームに加えられて、ビームが動きます。ビームの移動により生ずる出力変化により、機械的および電気的機能をテストすることができます。通常動作時は、このピンは開放のままにしておくことができます。または、コモンに接続しておくことができます。セルフテスト入力はCMOSとTTLに互換です。

A_{OUT}

加速度センサー出力（ピン8）は、公称スケール・ファクタ250 mV/g（V_{DD}＝5 Vの場合）に設定されています。A_{OUT}では、最小ソース/シンク電流50 µA（約50 kΩの出力インピーダンス）が保証されています。このため、A_{OUT}とA/Dコンバータ入力の間にはバッファが必要となることがあります。

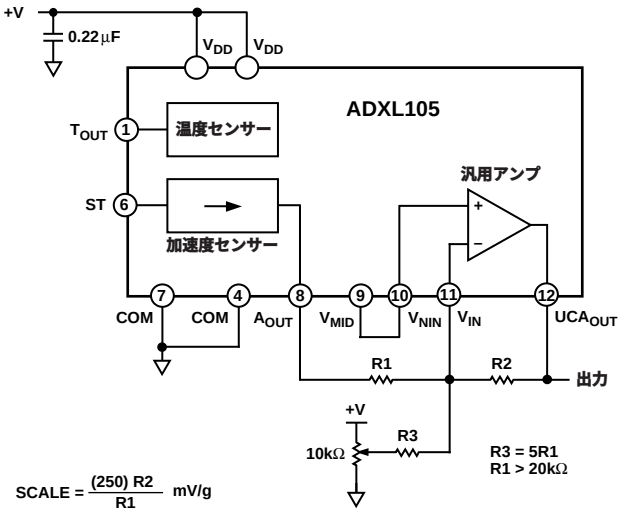
V_{MID}

V_{MID}には、公称V_{DD}/2が出力されます。これは主に、内蔵汎用アンプ（UCA）に対する基準電圧出力として使うことを想定しています（図14aと図14b）。出力インピーダンスは約10 kΩです。



ゲイン	スケール — mV/g	R1	R2
1	250	50kΩ	50kΩ
2	500	50kΩ	100kΩ
3	750	50kΩ	150kΩ
4	1000	50kΩ	200kΩ

a．汎用アンプによるスケール・ファクタの変更



b．汎用アンプによるスケール・ファクタとゼロgバイアスの変更

図14．スケール・ファクタを大きくするアプリケーション回路

T_{OUT}

温度センサー出力は＋25°Cで公称2.5 Vで、8 mV/°C（typ）で変化し、精度の代わりに再現性を重視して最適化されています。出力は電源電圧に比例します。

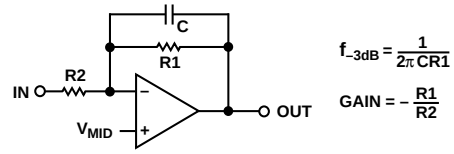
汎用アンプ（UCA）

この汎用アンプは、低ノイズで低ドリフトのバイポーラ・フロントエンド・デザインになっています。このUCAを使ってADXL105のスケール・ファクタを変更することができます（図14）。このUCAを使って1極または2極のアクティブ・フィルタを構成することもできます（図15a～図15d）。

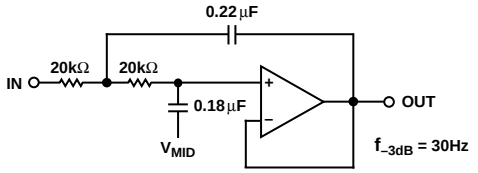
出力スケール

ADXL105の加速度出力(A_{OUT})は公称250 mV/gになっています。このスケール・ファクタはすべてのアプリケーションで使用できるわけではありません。UCAを使って、スケール・ファクタを大きくすることができます。最も簡単な方法を図14aに示します。

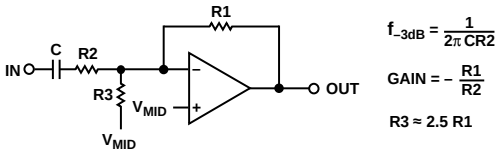
ADXL105の0 gオフセットは2.5 V±625 mVであるため、4より大きいゲインを使うと、0 gに対するUCA出力が0 Vまたは5 Vになってしまうことがあります。これに対する対策は、R3とVR1を追加してUCAを加算アンプに変えることです(図14b)。VR1は、0 gでのUCA出力が$V_{DD}/2$になるように調節します。



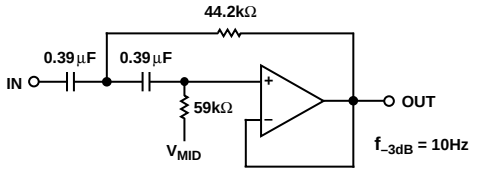
a．1極ローパス・フィルタ



b．2極ベッセル・ローパス・フィルタ



c．1極ハイパス・フィルタ



d．2極ベッセル・ハイパス・フィルタ

図15．UCAを使用するアクティブ・フィルタ*

デバイスの帯域幅と分解能

一般に、選択した帯域幅によりノイズ・フロアが決まり、ノイズ・フロアによりADXL105の計測分解能(検出可能最小加速度)が決まります。ADXL105のノイズは全周波数成分を均等に持つ白色ガウス・ノイズの特性を持っているため、単純に帯域幅を減らすことによりノイズ振幅を減らすことができます。したがって、ADXL105のノイズ(typ)は次式で表されます。

$$ノイズ\ (rms) = (225\ \mu g/\sqrt{Hz}) \times (\sqrt{帯域幅} \times K)$$

1極フィルタの場合、K　1.6

2極フィルタの場合、K　1.4

*他のコーナ周波数の場合は、アクティブ・フィルタ・ハンドブックを参照してください。

与えられた帯域幅1000 Hzに対して、ADLX105のrmsノイズ・フロア(typ)は次のようになります。

$$ノイズ = (225\ \mu g/\sqrt{Hz}) \times (\sqrt{1000} \times 1.6)$$
$$= 9\ \mu g\ rms\ (1極フィルタの場合)$$

また、

$$ノイズ = (225\ \mu g/\sqrt{Hz}) \times (\sqrt{1000} \times 1.4)$$
$$= 8.4\ \mu g\ rms\ (2極フィルタの場合)$$

ノイズのピーク値が必要な場合がしはしばあります。ノイズのピーク・ツー・ピーク値は、統計的な方法でのみ推定することができます。表Iは、rms値で与えられた種々のピーク値を超える確率を推定するときに使うことができます。この場合、ノイズのピーク・ツー・ピーク値は、1回の計測における不確定性に対して最も近い推定値を示します。

表Ⅰ．ピーク・ツー・ピーク・ノイズの推定

公称ピーク・ツー・ピーク値	ノイズがピーク・ツー・ピーク値を超える時間の%
2×rms	32%
3×rms	13%
4×rms	4.6%
5×rms	1.2%
6×rms	0.27%
7×rms	0.047%
8×rms	0.0063%

UCAをゲインと0 gオフセットを制御できるアクティブ・フィルタとして動作するように構成することができます(図16)。

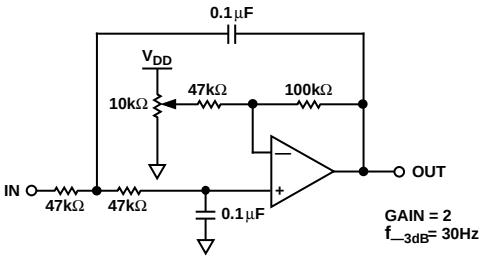


図16．ゲインとオフセットを備えたアクティブ・ローパス・フィルタとして構成されたUCA

EMCと電気的ノイズ

ADXL105のデザインは通常、EMIまたは磁界から影響を受けないようになっています。ADXL105は比例型であるため、V_{DD}上の導電性電気ノイズは出力に影響を与えません。ADXL105の内部クロック周波数(200 kHz)とその奇数次高調波におけるノイズに対しては、特にこのことがいえます。クリーンな電源電圧を維持することが、ADXL105の低ノイズと高分解能の特性を維持する際に重要です。

V_{DD}に高周波ノイズを含まないようにする1つの方法は、V_{DD}ピンの近くにRCローパス・フィルタを接続する方法です(図17)。図17に示す部品定数を使うと、200 kHzにおけるノイズは、約−23 dB減少します。ADXL105の消費電流を2 mAとすると、R1の両端に100 mVの電圧降下が発生します。この値は、図17に示すようにADXL105のV_{DD}をA/Dコンバータの基準電圧として使うことにより、単純に無視することができます。

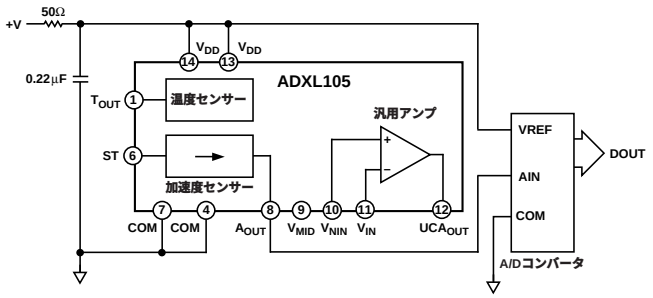


図17．V_{DD}上のノイズの削減

動的な動作

動的な加速度（振動）のみを測定するアプリケーションでは、加速度センサー出力をAC結合すると良い場合があります(図15cと図15d)。AC結合の利点は、0gオフセットの変動（デバイス間での変動）とドリフトが無視できる点です。

低消費電力動作

ADXL105の消費電力を減らす最も簡単な方法は、電源電圧を小さくすることです。V_{DD}を5 Vから2.7 Vに下げると、消費電力は9.5 mWから3.5 mWに減少します。多くのアプリケーションでは電源電圧を下げられない理由もあります。この様な場合の消費電力を減らす最善の方法は、デバイスを周期的に動作させることです。

ADXL105は、ターンオンさせて700 μs以内に正確に計測出力を得ることができます(図18参照)。多くのマイクロコントローラは、A/D変換を25 μs以内に行うことができます。したがって、ADXL105をターンオンさせて、750 μs以内に読み取ることは可能です。サンプル・レートが100 Hzの場合、2.7 Vでの平均電流は次のようになります。

100サンプル/s×750 μs×1.3 mA＝97.5 μA

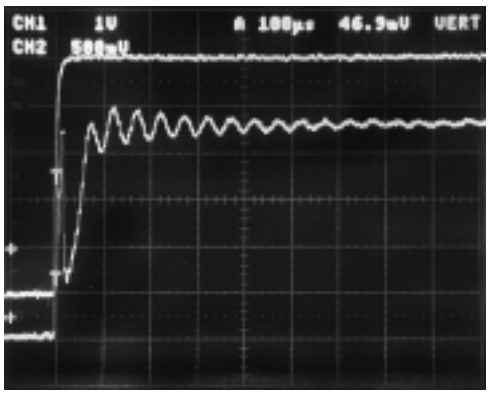


図18．V_{DD}＝5 Vにおけるターンオン応答（typ）

UCA内でフィルタを使う場合は、フィルタにも十分な整定時間を与える必要があります。

広帯域動作

ADXL105は、広い周波数範囲で動作を可能にする多くの特性を持っています。周波数と位相応答は、DCから10 kHzまで平坦です(図12と図13)。感度も全温度で一定です(図3)。これとは対照的に、多くの加速度センサーは、低い周波数で直線的な応答を持っていません(多くの場合、非常に低い周波数またはDCでは応答しません)。また、しばしば感度の温度係数が大きく、補償が必要です。さらに、ADXL105のノイズ・フロアはDC～5 kHzで緩やかにロールオフしていて平坦です（図7)。16 kHzのビーム共振周波数が図7に表示してありますが、ビームの共振周波数のところに小さいノイズ・ピーク（＋5 dB）があります。他の周波数では、大きなノイズ・ピークは存在しません。

ADXL105のビーム共振周波数は、周波数の上限を決定しますが、CERPAKパッケージの共振周波数は通常、7 kHz付近にあります。そのため、パッケージ共振周波数で6 dBピークが発生することがあります(図12と図13)。また、PCBも7 kHz以下に1個または複数の共振ピークを持つことがあります。そのため、アプリケーションが6 kHz以上で正確な動作を必要とする場合は、パッケージに起因する振幅応答ピークを無くするためにADXL105をPCBに接着し、PCBの機械的デザインを注意深く行う必要があります。

ADXL105のキャリブレーション

チルト計測などのアプリケーションに対しては、ADXL105のオフセットとスケール・ファクタの初期値をDCキャリブレーションする必要があります。

小さいgのアプリケーションに対しては、重力が最も安定で正確であるため、便利な加速度基準として使います。0 gポイントの概略値は、デバイスを地表に平行に向けて読み取ることができます。高精度が必要な場合は、校正治具を使って、1 g重力信号に対して正確に90度の方向に向ける必要があります。

正確な感度キャリブレーション方法は、＋1 gと －1 gで計測を行う方法です。感度は2回の計測から決定することができます。この方法は、軸方向信号は角度の余弦に比例するため、加速度センサーのアライメントに対して感度が低いという利点を持っています。例えば、5度の方向誤差は、計測値での0.4%の誤差にしかなりません。

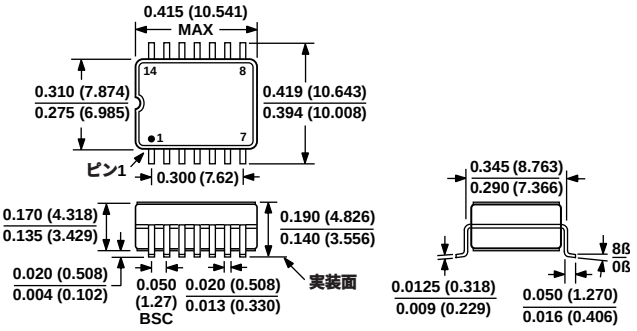
キャリブレーションを行うときは、加速度センサーの計測軸を直接地面に向けます。1 gの計測値を記録し、次にセンサーを180度回転して －1 gを計測します。この2つの計測値を使って、感度を次のように計算します。

感度＝［1 gの計測値－（－1 gの計測値）］/2 V/g

外形寸法

サイズはインチと（mm）で示します。

14ピンCERPAK
（QC－14）



D50111-2.7-8/99,1A

PRINTED IN JAPAN